**УДК 629.017**

**О. В. Літвінов**

# МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОПОРУ РУХУ СПЕЦІАЛЬНОЇ КОЛІСНОЇ ТЕХНІКИ В ДОРОЖНІХ УМОВАХ

*Розроблено метод визначення параметрів опору руху спеціальної колісної техніки та його складових: сумарного коефіцієнта дорожнього опору та коефіцієнта аеродинамічного опору, з використанням мікропроцесорного комплексу. Запропонований метод дозволяє визначати швидкість з високою точністю та довільно встановлювати датчики прискорення в площині дороги.*

*К л ю ч о в і  с л о в а: коефіцієнт дорожнього опору, коефіцієнт аеродинамічного опору, мікропроцесорний комплекс, спеціальна колісна техніка.*

**Постановка проблеми.** Визначення параметрів опору руху автомобіля та його складових є важливими завданнями теорії автомобіля [1, 2]. Досліджуючи властивості колісної техніки, доводиться зіставляти результати розрахунку і експерименту, для чого треба знати реальні величини опору коченню і опору повітря в кожному конкретному випадку [3]. На етапі випробувань також потрібно точно визначати показники динамічності для підтвердження заявлених тактико-технічних характеристик спеціальної колісної техніки. Таким чином, актуальним питанням є вдосконалення методів вимірювання параметрів опору руху, особливо їх варіантів, які не потребують складного або надмірно коштовного обладнання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій**. Коефіцієнт аеродинамічного опору (або фактор обтічності) звичайно визначають в аеродинамічних трубах, а опір коченню – на стендах з біговими барабанами. Вказані методи потребують значної витрати коштів, при цьому вони лише імітують реальні умови руху. Реальні умови експлуатації моделюються при використанні методу вибігу [4, 5], який дозволяє визначити середні за довжиною вибігу автомобіля показники дорожнього і аеродинамічного опору. Метод одноразового вибігу складний та трудомісткий і потребує спеціального устаткування [4, 6]. Більш простим і доступним є метод дворазового вибігу [4, 6]. Але зазначені методи не дозволяють розділити опір коченню і опір аеродинамічної сили [2].

Автори праці [3] пропонують у режимі вибігу автомобіля на різних швидкостях оцінити уповільнення, а потім за раніше виведеними формулами знайти коефіцієнт опору повітря і коефіцієнт опору коченню:

$$C_x = \frac{2 \cdot \beta \cdot m \cdot \left( \dot{V}_1 - \dot{V}_2 \cdot K_V \right)}{F \cdot \rho \cdot \left( V_1^2 - V_2^2 \cdot K_V \right)}; \quad (1)$$

$$\psi = \frac{\beta \cdot \left( \dot{V}_2 \cdot V_1^2 - \dot{V}_1 \cdot V_2^2 \right)}{g \cdot \left( V_1^2 - V_2^2 \cdot K_V \right)}, \quad (2)$$

де $\rho$ – густина повітря; $F$ – площа лобового перерізу автомобіля; $m$ – маса автомобіля; $\beta$ – коефіцієнт урахування обертових мас автомобіля; $K_V$ – коефіцієнт урахування впливу швидкості на опір кочення; $\dot{V}_i$, $V_i$ – прискорення та швидкість автомобіля у $i$-й момент часу.

Недолік вказаного методу – необхідність попереднього визначення коефіцієнта врахування впливу швидкості на опір кочення.

Отже, потрібні подальші дослідження.

**Метою статті** є розроблення методу визначення параметрів опору руху спеціальної колісної техніки та його складових з використанням мікропроцесорного комплексу. Для досягнення

© О. В. Літвінов, 2017

поставленої мети необхідно визначити параметри дорожнього та аеродинамічного опору спеціальної колісної техніки.

*Визначення дорожнього та аеродинамічного опору спеціальної колісної техніки.* Для вирішення поставленої задачі доцільно використати метод парціальних прискорень [1]. Рівняння руху автомобіля має такий вигляд:

$$m \cdot \dot{V} = P_K - \sum P_{\text{оп}}, \tag{3}$$

де $P_K$ – тягова сила; $\sum P_{\text{оп}}$ – сумарна сила опору руху.

$$\sum P_{\text{оп}} = m \cdot g \cdot \psi + k \cdot F \cdot V^2, \tag{4}$$

де $g$ – прискорення вільного падіння; $\psi = f \pm i$ – сумарний коефіцієнт дорожнього опору; $k$ – коефіцієнт опору повітря; $f$ – коефіцієнт дорожнього опору; $i$ – величина поздовжнього ухилу шляху.

У режимі руху накатом тягова сила дорівнює нулю і вираз (3) з урахуванням формули (4) набере такого вигляду [2]:

$$m \cdot \dot{V} = -\left(m \cdot g \cdot \psi + k \cdot F \cdot V^2\right). \tag{5}$$

За допомогою мікропроцесорного комплексу на основі акселерометрів можна визначати лінійні прискорення та швидкість автомобіля у моменти часу $t_1$ та $t_2$ з кроком $\Delta t$. У такому разі рівняння (5) для вимірювання параметрів буде розгорнуто у систему двох рівнянь [2]:

$$\begin{cases} \dot{V}_1 = -g \cdot \psi - \dfrac{k \cdot F}{m} \cdot V_1^2; & (6) \\ \dot{V}_2 = -g \cdot \psi - \dfrac{k \cdot F}{m} \cdot V_2^2. & (7) \end{cases}$$

Спільне розв'язання рівнянь (6) і (7) дозволяє визначити параметри $\psi$ та $k \cdot F$:

$$\psi = \frac{1}{g} \cdot \left( \frac{\dot{V}_1 \cdot V_2^2 - \dot{V}_2 \cdot V_1^2}{V_1^2 - V_2^2} \right); \tag{8}$$

$$\frac{k \cdot F}{m} = \frac{\dot{V}_1 - \dot{V}_2}{V_2^2 - V_1^2}. \tag{9}$$

Коефіцієнт аеродинамічного опору автомобіля визначається з відомої залежності

$$C_X = \frac{2 \cdot k}{\rho}. \tag{10}$$

З урахуванням формули (9) вираз (10) подано у такому вигляді:

$$C_X = \frac{2}{\rho} \cdot \frac{m}{F} \cdot \frac{\dot{V}_1 - \dot{V}_2}{V_2^2 - V_1^2}. \tag{11}$$

На рисунку показана схема, що дозволяє визначати параметри опору руху, використовуючи лінійні прискорення та швидкість руху спеціальної колісної техніки.

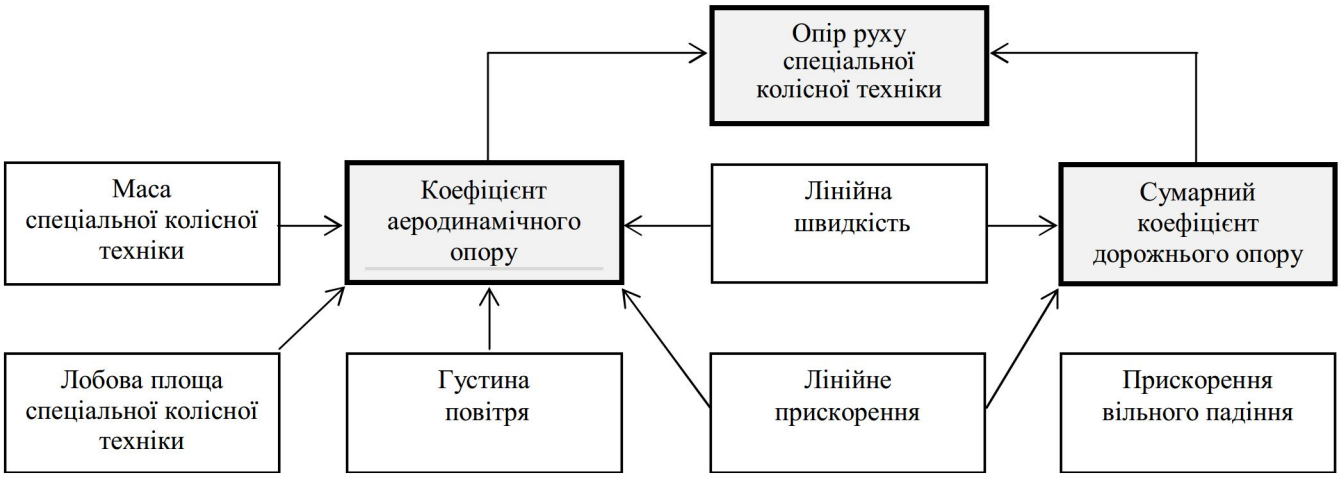


Схема визначення параметрів опору руху спеціальної колісної техніки в дорожніх умовах за допомогою мікропроцесорного комплексу

У випадку, коли швидкість руху неможливо визначити з потрібною точністю, її необхідно обчислювати через кутові величини та миттєвий радіус повороту, як показано у працях [7, 8], де запропонована схема для визначення кінематичних параметрів транспортних засобів при довільній установці датчиків у площині дороги, за якою можна визначити кутову швидкість, кутове прискорення та радіус повороту:

$$\varepsilon = \frac{\left(\dot{V}_A^X - \dot{V}_B^X\right)\cdot\left(Y_B - Y_A\right) + X_{AB}\cdot\left(\dot{V}_A^Y - \dot{V}_B^Y\right)}{\left(Y_B - Y_A\right)^2 + X_{AB}^2}; \tag{12}$$

$$\omega = \operatorname{sgn}\sqrt{\left|\frac{\left(\dot{V}_A^Y - \dot{V}_B^Y\right)\cdot\left(Y_B - Y_A\right) + X_{AB}\cdot\left(\dot{V}_A^X - \dot{V}_B^X\right)}{\left(Y_B - Y_A\right)^2 + X_{AB}^2}\right|}; \tag{13}$$

$$R = \frac{\varepsilon\cdot\dot{V}_A + \omega^2\cdot\dot{V}_B}{\varepsilon^2 + \omega^4} + 0{,}5\cdot Y_{AB}, \tag{14}$$

де $Y_A$, $Y_B$ – координати встановлення датчиків прискорення; $X_{AB}$, $Y_{AB}$ – відстань між датчиками у поздовжній та бічній площинах відповідно.

Лінійну швидкість визначимо як добуток кутової швидкості та радіуса повороту транспортного засобу. Використовуючи рівняння (12–14), отримаємо

$$V = \omega\cdot\left[\frac{\varepsilon\cdot\dot{V}_A + \omega^2\cdot\dot{V}_B}{\varepsilon^2 + \omega^4} + \frac{Y_{AB}}{2}\right]. \tag{15}$$

Отримані з мікропроцесорного комплексу дані у моменти часу $t_1$ и $t_2$ з кроком $\Delta t$ дозволяють розгорнути вираз (15) у систему двох рівнянь:

$$\begin{cases} V_1 = \omega_1\cdot\left[\dfrac{\varepsilon_1\cdot\dot{V}_{1A} + \omega_1^2\cdot\dot{V}_{1B}}{\varepsilon_1^2 + \omega_1^4} + 0{,}5\cdot Y_{AB}\right]; & (16) \\ V_2 = \omega_2\cdot\left[\dfrac{\varepsilon_2\cdot\dot{V}_{2A} + \omega_2^2\cdot\dot{V}_{2B}}{\varepsilon_2^2 + \omega_2^4} + 0{,}5\cdot Y_{AB}\right]. & (17) \end{cases}$$

Вираз (8) перетворимо на такий:

$$\psi = \frac{1}{g}\cdot\left[\frac{\dot{V}_1^X\cdot\omega_2^2\cdot\left(\dfrac{\varepsilon_2\cdot\dot{V}_{2A} + \omega_2^2\cdot\dot{V}_{2B}}{\varepsilon_2^2 + \omega_2^4} + \dfrac{Y_{AB}}{2}\right) - \dot{V}_2^X\cdot\omega_1^2\cdot\left(\dfrac{\varepsilon_1\cdot\dot{V}_{1A} + \omega_1^2\cdot\dot{V}_{1B}}{\varepsilon_1^2 + \omega_1^4} + \dfrac{Y_{AB}}{2}\right)}{\omega_1^2\cdot\left(\dfrac{\varepsilon_1\cdot\dot{V}_{1A} + \omega_1^2\cdot\dot{V}_{1B}}{\varepsilon_1^2 + \omega_1^4} + \dfrac{Y_{AB}}{2}\right) - \omega_2^2\cdot\left(\dfrac{\varepsilon_2\cdot\dot{V}_{2A} + \omega_2^2\cdot\dot{V}_{2B}}{\varepsilon_2^2 + \omega_2^4} + \dfrac{Y_{AB}}{2}\right)}\right]. \tag{18}$$

Коефіцієнт аеродинамічного опору визначимо за такою залежністю:

$$C_X = \frac{2}{\rho}\cdot\frac{m}{F}\cdot\frac{\dot{V}_1^X - \dot{V}_2^X}{\omega_2^2\cdot\left(\dfrac{\varepsilon_2\cdot\dot{V}_{2A} + \omega_2^2\cdot\dot{V}_{2B}}{\varepsilon_2^2 + \omega_2^4} + \dfrac{Y_{AB}}{2}\right) - \omega_1^2\cdot\left(\dfrac{\varepsilon_1\cdot\dot{V}_{1A} + \omega_1^2\cdot\dot{V}_{1B}}{\varepsilon_1^2 + \omega_1^4} + \dfrac{Y_{AB}}{2}\right)}. \tag{19}$$

Вирази (18) та (19) є основою вдосконаленого методу вимірювання параметрів опору руху, що не потребує складного або надмірно коштовного обладнання. Похибка вимірювання параметрів руху акселерометром мікропроцесорного комплексу не перевищує ±3 %.

## Висновки

1. Розроблено метод визначення компонентів опору руху спеціальної колісної техніки та його складових: сумарного коефіцієнта дорожнього опору та коефіцієнта аеродинамічного опору, з використанням мікропроцесорного комплексу, в якому вимірювальною апаратурою є лише датчики лінійних прискорень.

2. Запропонований метод, на відміну від відомих, дозволяє визначати швидкість з високою точністю, довільно встановлювати датчики у площині дороги та не потребує складного або надмірно коштовного обладнання. Похибка вимірювання параметрів руху акселерометром мікропроцесорного комплексу не перевищує ±3 %.

**Список використаних джерел**

1. Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин [Текст] / Н. П. Артемов, А. Т. Лебедев, М. А. Подригало и др. – Х. : Міськдрук, 2012. – 220 с.

2. Метод визначення сумарної сили опору руху автомобіля за допомогою датчиків лінійних прискорень [Текст] / М. А. Подригало, А. І. Коробко, Д. М. Клец, О. О. Назарько // Наукові нотатки Луцького національного технічного університету: міжвузівський зб. – Луцьк : ЛНТУ, 2010. – Вип. 78. – С. 432–434.

3. Рабинович, Э. Х. Расчет коэффициентов сопротивлений движению автомобиля по пути выбега [Текст] / Э. Х. Рабинович, В. П. Волков, Е. А. Белогуров // Вестник ХНАДУ. – Х. : ХНАДУ, 2009. – № 44. – С. 30–35.

4. BOSH [Текст] : автомоб. справ. : пер. с англ. – М. : Изд-во АН СССР, 1945. – 144 с.

5. Янте, А. Механика движения автомобиля [Текст] / А. Янте. – М. : Гостехиздат, 1958. – 263 с.

6. Петрушов, В. А. Мощностной баланс автомобиля [Текст] / В. А. Петрушов, В. В. Москвин, А. Н. Евграфов. – М. : Машиностроение, 1984. – 160 с.

7. Метрологічне забезпечення динамічних випробувань шляхово-транспортних машин [Текст] / М. А. Подригало, А. І. Коробко, Д. М. Клец, В. І. Гацько // Тракторна енергетика в рослинництві : вісн. Харк. нац. техн. ун-ту сільського госп-ва ім. П. Василенка. – Х. : ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2009. – Вип. 89. – С. 87–99.

8. Клец, Д. М. Метод определения параметров движения средств транспорта с помощью датчиков ускорений [Текст] / Д. М. Клец, Е. А. Дубинин // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Х. : ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2014. – Вип. 151. – С. 373–378.

*Стаття надійшла до редакції 29.05.2017 р.*

**УДК 629.017**

**А. В. Литвинов**

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ СПЕЦИАЛЬНОЙ КОЛЕСНОЙ ТЕХНИКИ В ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЯХ**

*Разработан метод определения параметров движения специальной колесной техники и его составляющих – суммарного коэффициента дорожного сопротивления и коэффициента аэродинамического сопротивления с использованием микропроцессорного комплекса. Предложенный метод учитывает особенности изготовления и применения специальной колесной техники.*

*К л ю ч е в ы е  с л о в а: коэффициент дорожного сопротивления, коэффициент аэродинамического сопротивления, микропроцессорный комплекс, специальная колесная техника.*

**UDC 629.017**

**O. V. Litvinov**

**THE METHOD OF DETERMINING OF THE OF RESISTANCE FORCE TO THE MOVEMENT OF WHEELED SPECIAL PURPOSE VEHICLES IN CERTAIN TERRAIN CONDITIONS**

*The methods of determining parameters of moving of wheeled special purpose vehicles and it's components – combined coefficient of road resistance and drag resistance force was invented with use of computerized complex. Offered method considers the aspects of manufacturing of the wheeled special purpose vehicles.*

*K e y w o r d s: coefficient of road resistance, coefficient drag resistance, computerized complex, special purpose vehicles.*

**Літвінов Олексій Володимирович** – ад'юнкт Національної академії Національної гвардії України.